

既設盛土の診断におけるせん断波速度測定の利用に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松丸 貴樹 富田 佳孝 杉山 健太
 正会員 高木 翔太 佐藤 武斗
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 濱田 吉貞 塩谷 敦

1. はじめに

降雨や地震に対して鉄道や道路等の盛土の診断を行う際には、盛土および支持地盤を対象として地盤調査や採取した試料を用いた室内土質試験を実施し、診断に活用している。診断に盛土や支持地盤で取得した情報を活用できている一方で調査・試験は点での実施となることが多く、得られた結果を代表値として扱わざるを得ない状況にある。このような調査・試験に対する補完として、非破壊で地盤を面的に調査・試験する方法が開発されており、実務でも活用が開始されている¹⁾²⁾。測定結果には盛土材料の粒径や密度等に起因したバラつきが含まれるが、その影響を取り除くことは難しい。本論文では盛土のせん断波速度に着目し、既設鉄道盛土を対象として地盤調査として表面波探査試験によりせん断波速構造を把握するとともに、室内土質試験によって測定されるせん断波速の大きさととの対比を行うことで、現場の盛土で取得されるせん断波速度測定に及ぼす各種因子の影響について考察した。

2. 対象とした盛土と調査・試験の実施概要

対象とする盛土は複々線の幹線鉄道盛土であり、その概要を図1に示す。盛土の高さは約4.6mであり、腰土留めを有している。また、のり面勾配は1:1.5よりも幾分か緩勾配となっている。柱状図は盛土近傍で支持地盤を対象として取得されたものであり、粘土・礫・砂の互層となっている。盛土材料の物理特性は、土粒子密度 $G_s=2.633$ 、細粒分含有率 $F_c=26.1\%$ 、乾燥密度 $\rho_d=1.38\text{g/cm}^3$ 、含水比 $w=17\%$ であり、盛土材料は細粒分礫質砂(SFG)に分類される。

本盛土において、線路方向およびのり面方向に表面波探査試験を実施した。表面波探査の測線は、のり肩付近で線路延長方向に24m区間を1ヶ所、のり面方向に延長6mの測線を2ヶ所設けた。受信器の間隔は線路延長方向では1m間隔で、のり面方向では50cm間隔とした。

一方、室内土質試験でのせん断波速度の測定は、ベンダーエレメントを用いて実施した。その際、①密度、②拘束圧、③飽和度(サクシオン)の影響に着目することとし、①・②については乾燥密度の大きさを変えた供試体を作製し、拘束圧を段階的に上昇させながらせん断波速度の測定を行った。③については不飽和土用の三軸試験装置を活用して、新たにせん断波速度の測定を実施できるようにした³⁾上で、排気・排水条件のもとで供試体への排水・吸水を行いながら、見かけ飽和状態→サクシオン5kPa→20kPa→5kPa→2kPaとし、各状態でせん断波速度の測定を行った。また、併せて本材料を用いた飽和・不飽和三軸試験を行い、せん断波速度と強度の関係についても把握を行った。

3. 調査結果および考察

表面波探査により得られた3測線のせん断波速度の空間分布を図2に示す。線路方向、のり面方向共にせん断波速度の大きさは200m/s程度を中心に盛土内部でバラつきは見られるものの、概ね同等のせん断波速度が得られた。ただし、線路方向断面の5~10mの位置では表層付近で局所的に大きなせん断波速度が得られているが、これは現地盛土でのり肩付近でバラスト厚の大きい箇所があり、その影響を受けた可能性が考えられる。一方で、のり面方向の測線ではのり肩付近で周辺と比べて小さなせん断波速度となっている箇所がある。のり面方向の測線では測線

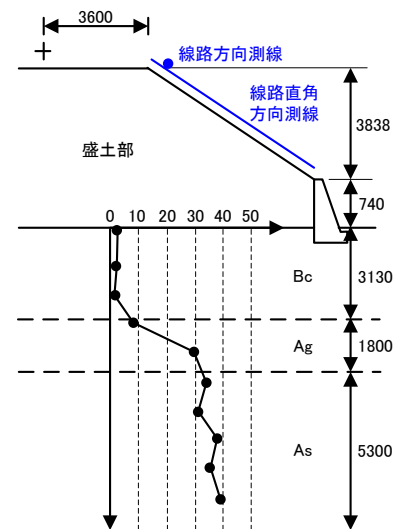


図1 対象とした盛土の概略図

キーワード 表面波探査, ベンダーエレメント, せん断波速度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

長が短いため、端部ではせん断波速度の解析結果の信頼性が十分でない可能性があることも考えられる。また、盛土部と支持地盤部の境界で大きなせん断波速度の変化は見られないが、深度8~10m付近で線路延長方向全長に渡り急激にせん断波速度が増加している。これは、図1に示す柱状図で、Ag層からAs層にかけてN値が増加していることを表面波探査でも検出できていると考えられる。

次に、盛土材料を使った供試体に対してベンダーエレメント法により測定したせん断波速度について考察する。飽和供試体を対象に、乾燥密度および拘束圧を変えることで得られたせん断波速度の分布を図3に示す。供試体の密度が大きくなるほど、また拘束圧が大きくなるほどせん断波速度は増加しており、既往の研究でも示される傾向が得られた。乾燥密度が1.38g/cm³から1.58g/cm³まで変化する範囲でのせん断波速度の変化は40m/s程度、拘束圧が25~100kPaまで変化する範囲でのせん断波速度の変化は40m/s程度である。

また、不飽和三軸試験装置を使ったベンダーエレメント法によるせん断波速度($\rho_d=1.50\text{g/cm}^3$, 拘束圧25kPa)の測定結果として、サクシヨンとせん断波速度の関係を図4に示す。サクシヨンの変化に対するせん断波速度の変化は166m/s~185m/sの範囲となっており20m/s以内の範囲での速度変化であった。見かけ飽和状態からサクシヨンを5kPa, 20kPaまで増加させる過程では、せん断波速度は微増している。一方、サクシヨンを低下させる過程においてもせん断波速度は微増していた。これは、サクシヨンを減少させる過程で飽和度がほとんど変化することではなく、水分量の変化がなかったことでせん断波速度に低下が生じなかったものと考えられる。また、別途吸水過程を対象にサクシヨンの大きさによる粘着力の変化についても確認したが、サクシヨン0kPa, 2.5kPa, 5kPaおよび10.0kPaに対する粘着力はそれぞれ9.8kPa, 13.9kPa, 14.2kPaおよび15.0kPaであり、0→2.5kPaでは増加が見られたがそれ以降では大きくは変化がなかった。このような要因もあり、上述の拘束圧や密度変化と比べると不飽和の影響がせん断波速度の大きさに及ぼす影響は極めて小さくなったものと考えられる。

さて、改めて表面波探査試験の結果に着目すると、線路方向断面の盛土に相当する深度(約4.6m)までの範囲では、局所的にせん断波速度の大きい領域を除くとせん断波速度の大きさは概ね180~260m/sの範囲で分布している。ベンダーエレメント試験で確認された前述①~③の要因によるせん断波速度変化分を足し合わせると概ねこの範囲の変動になると考えられ、表面波探査から得られたせん断波速度をもとに密度や拘束圧といった変動分を抽出することで、盛土の診断をより合理的に実施できる可能性を示唆している。

4. まとめ

本論文ではせん断波速度を例に、実際の盛土で取得される面的な速度分布と、各種変動要因を考慮した室内での速度を比較した。実際の盛土では一部局所的に大きな、あるいは小さなせん断波速度が取得されたが、それを除くと各種変動を包含するせん断波速度分布が得られていることが室内試験との対比から確認できた。今後は盛土材料のせん断波速度の大きさと強度の関係を見出し、盛土の診断に活用する手法について検討を行う予定である。

参考文献 1) 川尻峻三, 川口貴之, 橋本聖, 田中悠暉, 中村大, 山下聡: 盛土内の性状把握に対する表面波探査の適用性, 地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.1, pp.61-74, 2015. 2) 高倉伸一, 吉岡真弓, 内田洋平, 石澤友浩, 酒井直樹: 比抵抗モニタリングによる盛土中の水分変化の推定, 物理探査, Vol.65, No.4, pp.223-236, 2012. 3) 高木翔太, 松丸貴樹, 佐藤武斗, 富田佳孝, 杉山健太: 不飽和三軸試験を用いたサクシヨンの影響を考慮したせん断波速度の測定, 第57回地盤工学研究発表会, 2022 (投稿中) .

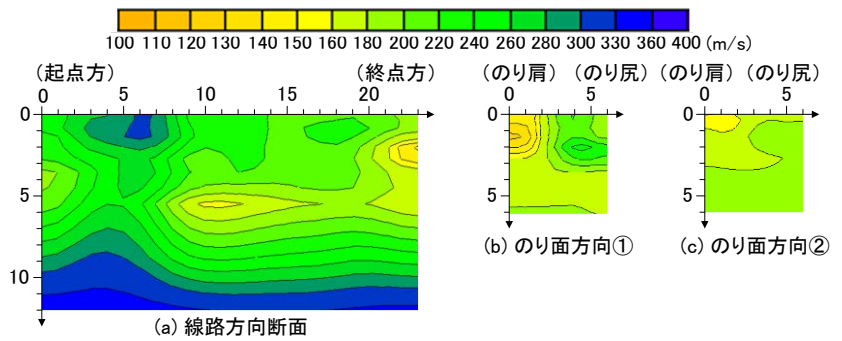


図2 表面波探査で得られたせん断波速度分布

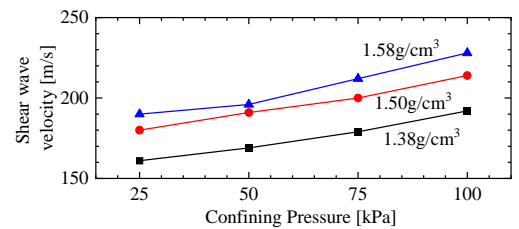


図3 拘束圧・密度とせん断波速度の関係

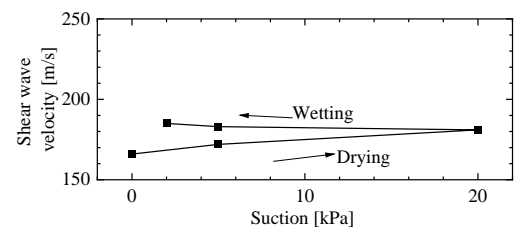


図4 サクシヨンの変化とせん断波速度の関係